

Kayaçların Yenilmeden Sonraki Davranışları ve Bunun Yeraltı Kayaç Yapılarının Tasarımındaki Önemi

Dr. Erkin NASUF (*)

ÖZET

Bu makalede yeraltındaki kayaç yapılarının tasarımında yenilme sonrası kayaçların davranışının önemi ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir.

Sonuç olarak bu tip yapıların yenilmelerinin kontrol edilebilmesi için göz önünde tutulması gerekli birkaç öneri yapılmıştır.

ABSTRACT

In this article the importance of post-failure characteristics of rocks in designing underground structures discussed in detail.

To control the failure of these kind of structures few considerations suggested as conclusions.

1. GİRİŞ

Kayaç içinde yapılacak kazıların en iyi şekilde tasarlanması için aranılan ana koşullardan birisi kazının hemen civarındaki kayacın dayanımı ve deformasyon karakteristikleri hakkında bilgi sahibi olmasıdır.

Yeraltındaki kaya patlamaları, tavan düşmesi, açıklıkların kapanması ve topukların dayanımı gibi problemlerin anlaşılması ve kontrol edilebilmesi sadece tasarım mühendisinin kazı kenarındaki kayacın dayanımı ve deformasyon davranışı hakkında yeterli bilgi sahibi olması ile gerçekleşebilir.

Kayacın dayanımı ve deformasyon davranışları ile ilgili olarak bugüne kadar yapılan bir çok kaya mekaniği araştırmaları bozulmamış bir kayacın yenilmeden önceki karakteristikleri merkezinde toplanıyordu ve bunun nedeni de test makinalarının böyle bir sınırlandırma yapması idi. Örneğin, gevrek (brittle) diye tanımladığımız kayaçlardan birçoğu klasik hidrolik test makinalarında tek eksenli basınç tayanımına kadar deformasyona tabi tutulduğunda aniden yenilirler. Diğer taraftan rijit, test makinalarının tanıtılması ile gevrek kayaçlar basınç dayanımından sonra bile kontrollü bir şekilde deformasyona tabi tutulurlar. Rijit test makinaları ile yapılan deneylerden görüldüğü gibi kayaçlar basınç dayanımına ulaştıktan sonra bile bir miktar dayanım gösterirler.

(*) TTÜ Maden Fakültesi

Maden İstetmesi ve Makinaları Kürsüsü.

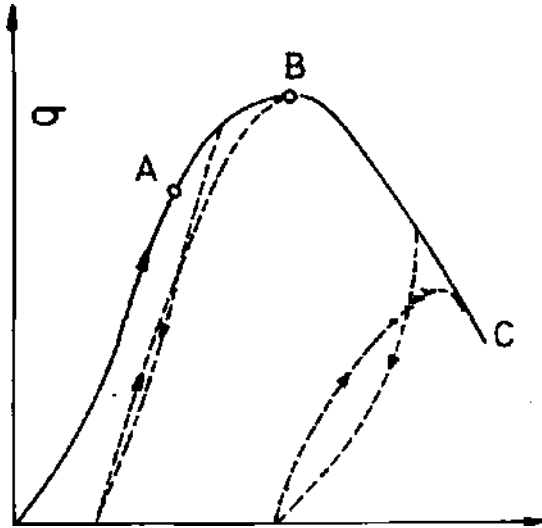
Yeraltındaki arazi araştırmalarında görüldüğü gibi

»teri veya herhangi bir açıklık civarında, özellikle derin maddenlerde, kayaç çatlamış haldedir. Fakat buna rağmen uzun süre yük alabilecek şekilde dengede kalabilir. Bu arazi çalışmalarından çıkarılan sonuçlara göre kayaçların yenilmeden sonraki durumunda yenilme olayının incelenmesi, kayaçların denge problemlerinin daha iyi anlaşılmasına ve kayaç yapılarındaki ani yenilmelerin daha iyi kontrol edilmesi için yeni yöntemlerin geliştirilmesine katkıda bulunacaktır.

Bu yazıda kayaçların deformasyon karakteristikleri ve bunun madencilikteki önemi tartışılmaktadır.

2. TEK EKSENLİ GERİLME ALTINDA KAYAÇLARIN GERİLME-DEFORMASYON KARAKTERİSTİKLERİ

Kayaçların gerilme-deformasyon karakteristikleri hakkında en yeni gelişme JAEGER ve COOK⁽¹⁾ tarafından yapılmıştır. Bu yazarlara göre; kayaçların gerilme-deformasyon eğrileri artan ve azalan iki kısımdan ibarettir (Şekil 1).



Şekil 1. Kayaç için gerilme-deformasyon ilişkisi (Jaeger-Cook)

Bir malzeme yüke karşı dayanım niteliğini kaybetmeden kalıcı deformasyonunu saklarsa, o malzeme sünümlü (duktil) halde ve buna ters olarak yüke karşı dayanım, artan deformasyonla azalıyorsa malzeme gevrek (brittle) haldedir.

Şekil 1'deki gerilme-deformasyon eğrisinde OB bölgesindeki yüklemeler ve boşaltmalar kayaç yapısında ve özelliklerinde kalıcı bir değişiklik meydana getirmezler, bu yüzden kayaç bu bölgede elastik bir davranış gösterir. OA bölgesinde tam elastik iken AB bölgesinde sünümlü (duktil) bir davranış gösterir. Buna karşılık BC bölgesinde kayaçta kalıcı değişiklikler olur. Kayaç BC bölgesinde gevrek (brittle) haldedir. Şekildeki A noktası elastik bir halden duktile hale geçiş noktası olup, bu noktaya esneme noktası denilebilir. Yenilme işlemi yavaş yavaş BC bölgesinde olduğundan ve yenilme B noktasında başladığından bu noktaya da kayaçın basınç dayanımı noktası denebilir.

Yeraltındaki galerilerin veya açıklıkların civarındaki kayaçların bir kısmı arazi basınçları nedeniyle sık sık gevrek halde olduğundan, bu bölgelerin mekaniğini anlamak için, gerilme-deformasyon karakteristiklerinin gevreklik bölgesindeki ilişkilerinin iyi anlaşılması gereği daha önce gösterilmiştir. Laboratuvarda yapılan tek eksenli basınç deneyleri de, işte bu yukarıda bahsedilen yeraltındaki çok karmaşık mekanizmanın sadeleştirilmiş halidir. Laboratuvar testlerinde sık sık Şekil 1'deki BC eğrisinin herhangi bir noktasında yüzeyler arasında kohezyonun tamamen kaybolması ile ani yenilmeler meydana gelir. Klasik test makinalarında, makina ile kayaç numunesi arasındaki dengesizlik nedeniyle bu ani yenilme B noktasının çok yakınlarında meydana gelir.

SALAMON⁽²⁾ kaya mekaniği laboratuvarlardaki test sistemleri için gerekli denge şartları üzerinde çalışmalar yapmıştır. Bu yazara göre test sisteminde iki denge koşulu;

$$K_m + f(\delta_s) > 0$$

burda K = test makinasının rijitliği

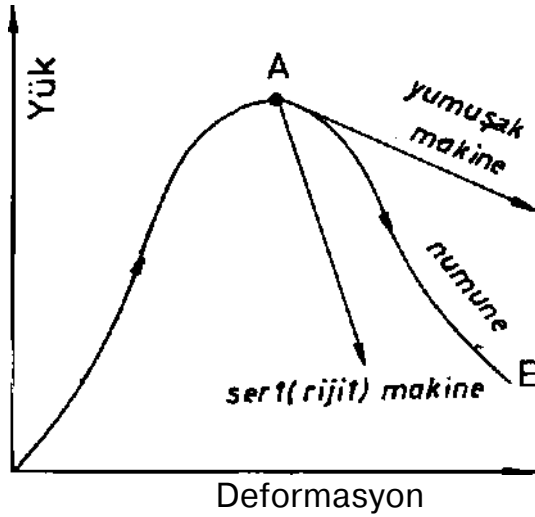
f (fi) = Bir kayanın basınç-deformasyon eğrisinin n-Basınç dayanımından sonra olan kısmının türevi veya eğimi.

Test makinasının rijitliği daima pozitifdir. Test makinesi ve numune sistemi $f(\delta_s) < 0$ olmadıkça dengesiz olamaz. Yenilme direncinden sonra $f(\delta_s)$ negatif olur.

O zaman $f(\delta_s) > K_m$ ise sistem dengesiz olur ve aniden yenilir. Diğer taraftan eğer $|f(\delta_s)| < K$ ise numunenin yenilmesi kontrol altına alınır.

BIENIAWSKI⁽³⁾'de kayaçların gevrek halde şartlı olarak dengede olduklarını yani denge şartının kayacın kendi özelliklerine ve yükleme sisteminin rijitliğine bağlı olduğunu öne sürmüştür. Uygulamada oda ve topuk sisteminde bu denge şartı taban ve tavan taşlarının rijitliğine bağlıdır.

Şekil 2'de bir kayaç numunesinin gerilme-deformasyon eğrisi ve test makinasının bunun üzerindeki etkisi gösterilmektedir.

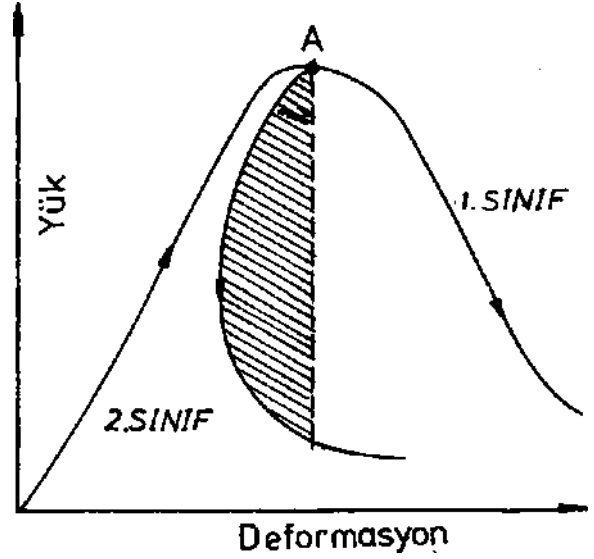


Şekil 2. Kayaç numunesi ve farklı test makinaları için gerilme-deformasyon eğrilerinin toplu gösterimi

Şekilden de görüldüğü gibi kayaç numunesinin davranışı B noktasından (Basın dayanımı) sonra yüklemeye makinasının rijitliği ile kontrol edilir, rijit test makinası ile yenilme işlemi daha iyi kontrol altına alınır. Gene, uygulamada taban ve tavan taşlarının şekillerini değiştirerek gerekse topukta üç eksenli yüklemeye hafi yaratarak değiştirilebilir.

WAWERSIK⁽⁴⁾ ise klasik test makinaları ile yapılan laboratuvar deneylerinde kayaç numunelerinin yenilme davranışlarını açıklamaya çalışmıştır. Wawersik ve arkadaşlarına göre yenilme test makinasındaki birikmiş enerjinin kayaç numunesine boşalması ile oluşur. Bu boşalma ise eksenel deformasyon, gerilme-deformasyon eğrisinin tepe noktasını aştıktan sonradır. Wawersik ve arkadaşları ayrıca rijit test makinesi kullanarak çeşitli kayaçların gerilme-deformasyon eğrilerini elde etmişlerdir. Sonuç olarak kayıç numune [erinin hepsi hemen hemen ben/er yenilme öncesi deformasyon karakteristiği göstermelerine rağmen, yenilme sonrası deformasyon lcuramemiiJerinin farklı olduğu

ortaya çıkmıştır. Ayrıca kayaçların yenilme sonrası davranışları Şekil 3'te görüldüğü gibi 't; gi&fot incelenabilir.



Şekil 3. Tek eksenli basınç altındaki yenilme davranışının sınıflandırılması

Birinci sınıf kayaçlar sadece test makinasının yüklemeye başlıklarının devamlı hareketi ile kırılacaklardır. Bu durumda deformasyon ekseninin her noktasında yenilmeye devam etmek için gerekli iş numune tarafından yapılmalıdır. İkinci sınıf kayaçlar ise yenilmeye gerilme-deformasyon eğrilerinin tepe noktasından itibaren, yüklemeye makinası ne kadar rijit olursa olsun devam edeceklerdir.

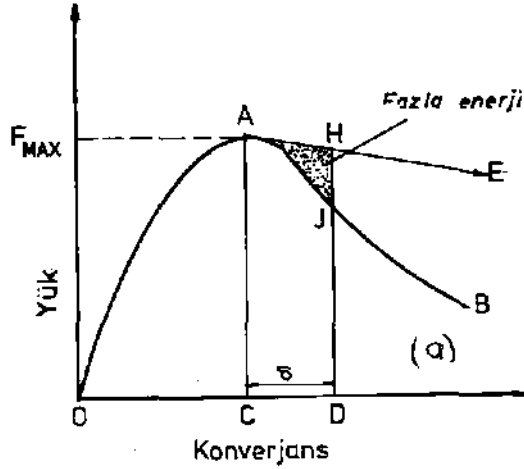
Yeraltı topuklarında, laboratuvardaki gerilme-deformasyon eğrisi yük-konverjans eğrisi, bölgesel rijitlik ise taban ve tavan arasındaki konverjans eğrisinin nefatif eğimidir.

STARFIED ve FAIRHURST⁽⁵⁾ topukta ve taban tavan arasında konverjansı Ölçerek bölgesel rijitliği elde etmeye çalışmışlardır.

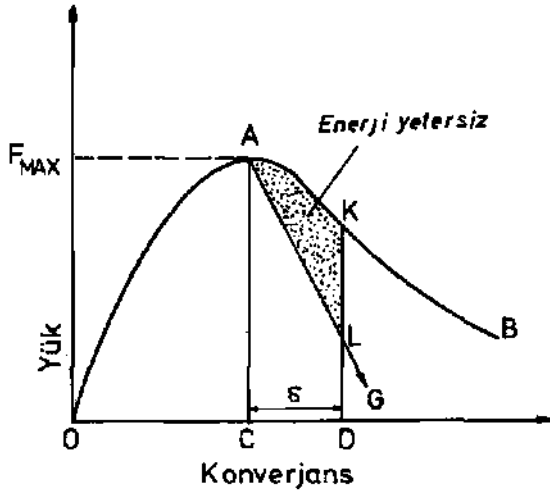
Şekil 4 a, b'de farklı iki bölgesel rijitlik ve topuğun yük-konverjans eğrisi arasındaki ilişki gösterilmiştir. Birinci halde, madendeki enerji (AE'nin altındaki alan) ve topuk tarafından absorbe edilmiş enerji (AJB'nin altında kalan alan) arasındaki fark, konverjans D'ye ulaştıktan sonra örneğin (AHJ alanı), topuğun daha erken ve hızlı çökmesi (kolpse) için yeterli düzeye ulaşır.

İkinci halde ise durum tersinedir. Tavan, yük deformasyon eğrisinin tepe noktasından sonra, topu-

ğu deforme edebilecek yükü temin etmeye yetmemektedir, ve böylece dengeli bir durum oluşur; ya-



Şekil 4 a. Topuk az rijit bölgede-dengesiz durumda



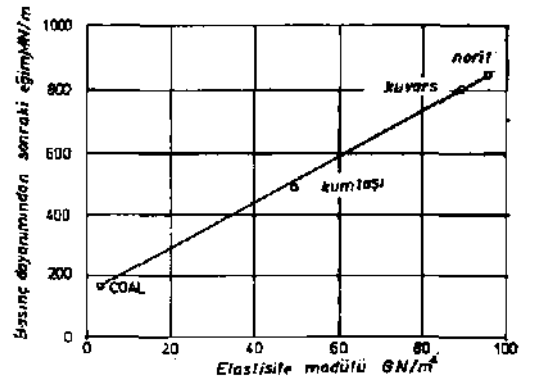
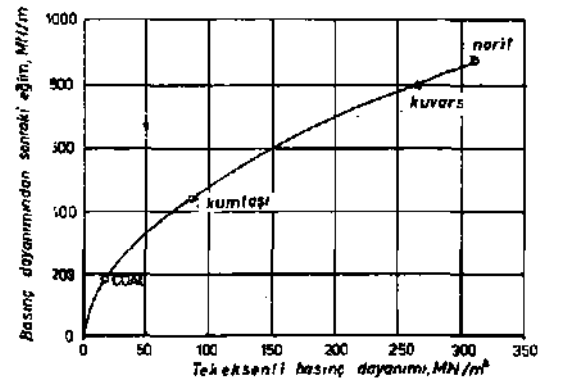
Şekil 4 b. Topuk çok rijit bölgede-d engeli durumda
ni yenilme kontrol altına alınmıştır ve çökme (kolapse) olmaz.

Yukarıda açıklanan deneyler, laboratuvarında ufak kayaç numuneleri üzerinde yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar da, belki, pratik problemlere gerçekçi bir çözüm sağlamayacaktır.

BIENIAWSKI (*) Güney Afrika'daki Witbank kömür madeninde kenar uzunluğu 0.45 m olan büyük kömür numunelerini yerinde test etmiştir. Ta-

ban ve tavanı temsil etmek için numunelerin üstünden ve altından çelik kışkaçlarla sıkıştırılmıştır. Bu araştırmaların sonucunda kömürün basınç dayanımı noktasından sonraki yük-konverjans eğrisinin oldukça yatay olduğu görülmüştür. Öyle ki, nispeten az rijitlikteki taban ve tavan şartlarında bile topuğun yenilmesi kontrol altına alınmış olur. Sonuçlardan ayrıca, basınç dayanımından sonraki negatif eğim, kayacın tek eksenli basınç dayanımı ve elastik modülü ile Şekil 5 a, b'de de gösterilen bağlantılar yardımı ile karşılaştırılabilir.

Şekildeki diğer örneklerle karşılaştırıldığında kömür, en çok istenilen, yenilme sonrası deformasyon karakteristiği vermektedir ki bu da topuk ta-



Şekil 5a. Kayacın gerilme-deformasyon eğrisinde basınç dayanımından sonraki eğim ve tek eksenli basınç dayanımı arasındaki ilişki

Şekil 5b. Kayacın gerilme-deformasyon eğrisinde basınç dayanımından sonraki eğim ve elastisite modülü arasındaki ilişki

sarımında topuğun kontrollü bir şekilde yenilmesinde ve böylece diğer çalışmaları tehlikeye maruz bırakmamada önemli bir yer tutar.

Numunelerin yenilme sonrası karakteristikleri ile geometrisi arasındaki ilişkiyi de HUDSON(7) incelemiştir. HUDSON çeşitli boyda ve şekildeki mermer numuneleri üzerinde yaptığı deneyler sonucunda mermerin yenilme sonrası gerilme-deformasyon eğrisinin, numunelerin çap uzunluğunun boy uzunluğuna oranı azaldıkça daha dik eğimli hale geldiğini bulmuştur.

3. SONUÇLAR

Tek eksenli bir gerilme altındaki bir kayaç numunesinin yenilmesini kontrol edebilmek İki faktöre bağlıdır. Test makinasının rijitliği ve numunenin özellikleri (numunenin şekli ve boyutu ile elastik modülü, vb).

Yenilmenin kontrol edilebilmesi İçin test makinasının rijitliği, eğimi, kayaç numunesinin yenilme işlemi sırasındaki gerilme-deformasyon eğrisinin, gerçek eğim değerinden, daima büyük olması gerekir. Gerilme-deformasyon eğrilerinin negatif eğimleri, kayaçların tek eksenli basınç dayanımı ve elastik modülü ile ilişkilidir. Buna göre sert kayaçların negatif eğimleri, yumuşak kayaçlarınkinden daha diktir. Bundan dolayıdır ki sert kayaç şiddetli ve ani yenilmeye yumuşak kayaçtan daha yatkındır. Kömürün gerilme-deformasyon eğrisinin negatif eğimi daha yatay olduğundan kömürde bırakılan topluklardaki yenilme işlemi daha İyi kontrol edilebilir.

KAYNAKLAR

1. JAEGER, J.C ve COOK, N.G.W., "Fundamentals of Rock Mechanics" Methuen, LONDON (1969).
2. SALAMON, İvi.U.G. "Stability, instability and design of pillarworkings" Int. J. Rock. Mech. Min. Sd. Vol. 7 PP. 613-631.
3. BIENIAWSKI, Z.T. ve DENKHAUS, H.G. "Failure of fractured rock" Int. J. Rock. Mech. Mineci. Vol. 6 n. 3, PP. 123-145.
4. WAWERSIK, W.R. ve BRACE, W.F. "Post-failure behaviour of a granite and diabase" Rock Mech, Vol. 3 PP. 61-85 (1971).
5. STARFIELD, A.M. ve FAIRHURST, C. "How high-speed computers advance design of practical mine pillar system". Eng. and Mining Journal, Vol. 169 (1968).
6. BIENIAWSKI, Z.T. "Load-Deformation behaviour of coal after failure". Proc. 2nd-Congress of the Int. Soc. for Rock Mech.
7. NASUF, S.E. "A photoelastic and Field investigation into the Interface problem in Rock Mechanics". RhD thesis Univ. of Strathclyde. 1977.